



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Gebrauchsmusterschrift**
⑩ **DE 201 13 207 U 1**

⑤ Int. Cl. 7:
H 01 S 5/187

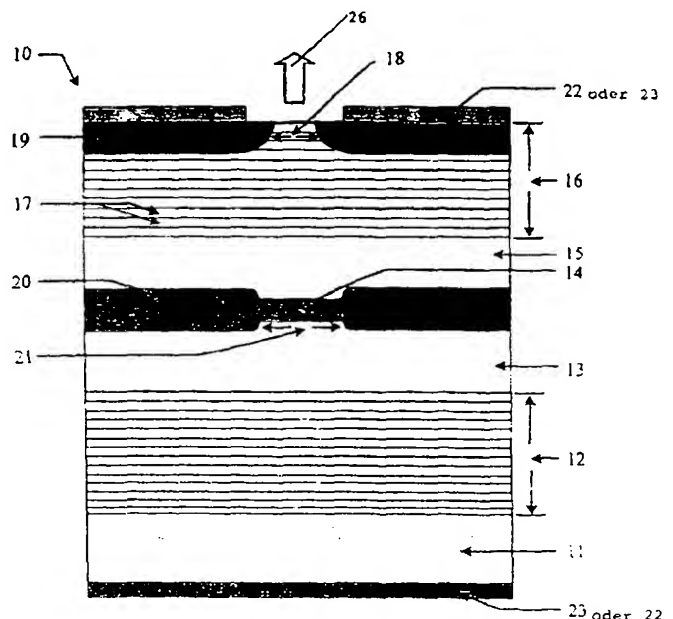
⑦	Aktenzeichen:	201 13 207.9
②	Anmeldetag:	9. 8. 2001
④	Eintragungstag:	20. 12. 2001
④	Bekanntmachung im Patentblatt:	31. 1. 2002

⑦ Inhaber:
Yang, Ying-Jay, Taipeh/T'ai-pei, TW

⑦ Vertreter:
Glawe, Delfs, Moll, Patentanwälte, 80538 München

⑤ Halbleiterlaser

⑤ Oberflächenemittierender Laser mit einem vertikalem Hohlraum und einem Substrat, dadurch gekennzeichnet, daß er aufweist eine mehrschichtige Struktur, die über dem Substrat (11) stapelförmig angeordnet ist, die aus einem unteren verteilten Bragg-Reflektor (DBR, 12), einer unteren Mantel- oder Abstandsschicht (13), einer lichtemittierenden aktiven Schicht (14), einer oberen Mantel- oder Abstandsschicht (15) und einem oberen verteilten Bragg-Reflektor (DBR, 16) besteht; einen Absorber (19) mit einer Öffnung (18), der in einem Teil der mehrschichtigen Struktur ausgebildet ist und eine Dicke von 3% bis 95% des unteren oder oberen verteilten Bragg-Reflektors (DBR, 12, 16) aufweist; einen aktiven Bereich (21), dessen Zentrum mit der Öffnung (18) des Absorbers (19) ausgerichtet ist, der in der lichtemittierenden aktiven Schicht (14) ausgebildet ist, und eine p-Elektrode (22) und eine n-Elektrode (23), die auf einer Schicht vom p-Typ bzw. n-Typ ausgebildet sind.



DE 201 13 207 U 1

GLAWE, DELFS, MOLL

PATENTANWÄLTE

ZUGELASSENE VERTRETER BEIM EUROPÄISCHEN PATENTAMT

Ying-Jay Yang,

Taipei City, Taiwan

RICHARD GLAWE, Dr.-Ing. (1952-1985)
KLAUS DELFS, Dipl.-Ing., Hamburg
WALTER MOLL, Dipl.-Phys. Dr. rer. nat., München
HEINRICH NIEBUHR, Dipl.-Phys. Dr. phil. habil., Hamburg
ULRICH GLAWE, Dipl.-Phys. Dr. rer. nat., München
BERNHARD MERKAU, Dipl.-Phys., München
CHRISTOF KEUSSEN, Dipl.-Chem. Dr. rer. nat., Hamburg
AXEL RIESENBERG, Dr.-Ing., Hamburg

Postfach 26 01 62
80058 München

Liebherrstraße 20
80538 München

Tel. (089) 22 46 65
Telefax (089) 22 39 38 (G3)
Telex 5 22 505

Postfach 13 03 91
20103 Hamburg

Rothenbaumchaussee 58
20148 Hamburg

Tel. (040) 4 10 20 08
Telefax (040) 45 89 84 (G4,G3)

HAMBURG,

YAYJ021UDE
N/nk/sq

Halbleiterlaser

Die Erfindung betrifft einen Halbleiterlaser, insbesondere oberflächenmittierende Halbleiterlaser mit vertikalem Hohlraum.

5

In den letzten Jahren sind oberflächenemittierende Laser mit vertikalem Hohlraum (vertical-cavity surface-emitting lasers, VCSELS) [Koyama et al "Room-temperature continuous wave
lasing characteristics of a GaAs vertical-cavity surface-
emitting laser," Appl. Phys. Lett., Band 55, 221-222, 1989]
wichtige Lichtquellen für verschiedene optische Kommunikati-
ons- und Speichersysteme aufgrund Ihrer einzigartigen Merkma-
le geworden, wie z.B. der niedrige Schwellenstrom, Einzel-
Längsmode-Betrieb und wenig divergenter Strahl. Insbesondere
oberflächenemittierende Laser mit vertikalem Hohlraum mit

15

DE 201 13 207 U1

stabilem Einzelmode-Betrieb, die sowohl in einem einzelnen Längsmoden als auch in einem einzelnen Quersmoden arbeiten, sind sehr wünschenswert für Hochgeschwindigkeitskommunikation über große Distanzen, um Dispersionswirkungen zu minimalisieren, für Wellenlängen-Aufteilungs-Multiplexsysteme (wavelength-division-multiplex, WDM) um Übersprechen zwischen Kanälen zu vermeiden, und für optische Speicher- und Drucksysteme, um ein einziges kreisförmiges Muster zu erhalten. Hier wird der stabile Einzelmode-Betrieb als ein Laserbetrieb mit einem einzelnen Moden definiert, der über den gesamten Ansteuerstrombereich oberhalb des Schwellenstroms aufrecht erhalten werden kann. Die oberflächenemittierenden Laser mit vertikalem Hohlraum arbeiten typischerweise in einem einzigen Längsmoden aufgrund ihrer eingebauten verteilten Bragg-Reflektoren (DBRs) und dem großen Modenabstand (30-40 nm). Der einzelne Quersmoden ist jedoch schwieriger zu erzielen, da er entweder ein gutes Stromeingrenzungs-schemen in Querrichtung, um einen aktiven Bereich mit einzelem Quersmoden mit einem Durchmesser, der normalerweise kleiner ist als ungefähr 5 μm , oder eine optische Struktur im Hohlraum für Einzel-Quersmodenauswahl erfordert. Im Stand der Technik zeigten nur sehr wenige Einrichtungen stabilen Einzelmode-Betrieb, obwohl verschiedene oberflächenemittierende Laserstrukturen mit vertikalem Hohlraum (VCSEL) hergestellt worden sind. Der geätzte oberflächenemittierende Mesalaser mit vertikalem Hohlraum (VCSEL) [Jewell et al " Low threshold electrically pumped vertical-cavity surface-emitting microlaser," Electron. Lett., Band 25, Seiten 1123-1125, 1989], der eine Mesastruktur verwendet, um den Injektionsstrom und das optische Feld einzugrenzen, arbeitet normalerweise im Multimoden-Betrieb aufgrund der

starken indexgeführten Struktur. Der ionenimplantierte oberflächene-mittierende Laser mit vertikalem Hohlraum (VCSEL) [Geel et al "Low threshold planarized vertical-cavity surface-emitting lasers," IEEE Photon. Technol. Lett., Band 2, 5 Seiten 234-236, 1990] mit aktiven Bereichen, die durch Ionenimplantation gebildet sind, kann einen Einzelmode-Betrieb nur bei niedrigeren Strompegeln aufrecht erhalten und zeigt Multimode-Betrieb bei höheren Strompegeln. Obwohl der oberflächene-mittierende Laser mit vertikalem Hohlraum (VCSEL) mit 10 einem passivem Gegenführungsbereich [Wu et al "High-yield processing and single-mode operation of passive antiguide region vertical-cavity lasers", IEEE J. Select. Topics Quantum Electron., Band 3, Seiten 429-434, 1997] in einem stabilen Einzelmode arbeiten kann, ist die Herstellung der Einrichtung, 15 die ein Umkristallisieren erfordert, komplizierter. Der oxidbegrenzte oberflächene-mittierende Laser mit vertikalem Hohlraum (VCSEL) [Grabherr et al "Efficient single-mode oxide-confined GaAs VCSEL's emitting in the 850 nm wavelength regime," IEEE Photon. Technol. Lett. Band 9, Seiten 1304- 20 1306, 1997] erfordert einen Oxidationsvorgang, um eine AlAs-Schicht in eine AlO_x -Schicht umzuwandeln, die einen aktiven Bereich mit weniger als 3 μm Durchmesser bildet, um stabilen Einzelmode-Betrieb zu erhalten. Diese Laserstruktur erfordert eine sehr kritische Kontrolle sowohl beim Aufwachsen der Epitaxialschicht, um die AlO_x -Schicht vertikal nahe zu einem 25 Knotenpunkt der optisch entstehenden Welle zu positionieren, als auch beim Oxidationsvorgang, um die AlAs-Schicht seitlich zu einer gewünschten Länge im Bereich von ungefähr 1 μm Genauigkeit zu oxidieren. Der oberflächene-mittierende Laser mit 30 vertikalem Hohlraum mit einer geätzten Oberfläche auf der

Oberseite [Unold et al "Increased-area oxidized single-fundamental mode VCSEL with self-aligned shallow etched surface relief," Electron. Lett., Band 35, Seiten 1340-1341, 1999], kann, um Modes höherer Ordnung zu unterdrücken, Einzelmode-Betrieb nur bei bis zum Fünffachen des Schwellenstromes ausführen, er erfordert auch eine kritische Kontrolle der geätzten Tiefe innerhalb eines Bereiches von 50 nm (0,05 μm). Derselbe Erfinder zeigte kürzlich, daß ein oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Hohlraum mit einem oberen selektiv ungeordneten Spiegel, der durch Zink(Zn)-Diffusion durch den gesamten (100%) oberen verteilten Bragg-Reflektor (DBR) gebildet ist, [Dziura, T.G. Yang, Y. J., et al "Single mode surface emitting laser using partial mirror disordering," Electron. Lett., Band 29, Seiten 1236-1237, 1993] stabilen Einzelmode-Betrieb aufrecht erhalten kann; die Einrichtung leidet jedoch unter großem optischen Verlust aufgrund der großen Lochkonzentration im dicken Zn-Diffusionsbereich (> 3 μm), was zu einem höheren Schwellenstrom und einer sehr niedrigen Ausgangsleistung (< 0,25 mW) führt, was für praktische Verwendungen unzureichend ist. Alle vorgenannten oberflächenemittierenden Laserstrukturen mit vertikalem Hohlraum und damit zusammenhängende Herstellungsverfahren haben, obwohl sie in großem Umfang verwendet werden, entweder unbefriedigende Leistung mit unstabilem Einzelmode-Betrieb oder einem hohen Schwellenstrom und unzureichender Ausgangsleistung oder große Schwierigkeiten bei der Herstellung, insbesondere bei der Herstellung in großen Mengen. Als Ergebnis hiervon besteht ein Bedarf für eine Einrichtung, die im stabilen Einzelmode mit ausreichender Ausgangsleistung (> 1 mW) für die meisten Anwendungen arbeiten kann, und für ein Her-

stellungsverfahren, das ein verhältnismäßig einfaches Verfahren mit großer Ausbeute ist und leicht mit der konventionellen Halbleitertechnik zu handhaben ist und auch für Massenproduktion geeignet ist.

5

Der Zweck der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung eines oberflächenemittierenden Lasers mit vertikalem Hohlraum, der in stabilem Einzelmode-Betrieb mit einer ausreichenden Ausgangsleistung betrieben werden kann, die für die
10 meisten Anwendungen nützlich ist. Die Herstellung soll dabei durch ein Verfahren erfolgen, das ohne weiteres durch die konventionelle Halbleitertechnik aufgegriffen werden kann und für Massenproduktion geeignet ist.

15 Durch die Erfindung wird eine oberflächenemittierende Laserstruktur mit vertikalem Hohlraum geschaffen. Das Herstellungsverfahren für dieselbe wird hier ebenfalls beschrieben.

Der oberflächenemittierende Laser mit vertikalem Hohlraum
20 weist eine epitaxiale Schichtstruktur auf, die besteht aus:
einem Substrat;
einer vielschichtigen Struktur, die über dem Substrat stapelförmig angeordnet ist, die aus einem unteren verteilten Bragg-Reflektor (DBR), einer unteren Mantel- oder Abstandsschicht,
25 einer aktiven lichtemittierenden Schicht, einer oberen Mantel- oder Abstandsschicht und einem oberen verteilten Bragg-Reflektor (DBR) besteht.

Bei dem Verfahren zum Herstellen des oberflächenemittierenden
30 Lasers mit vertikalem Hohlraum wird in einem Teil der mehreren Schichten des Lasers ein Absorber mit einer Öffnung ge-

bildet, wird auf der lichtemittierenden aktiven Schicht ein aktiver Bereich gebildet, dessen Zentrum mit der Öffnung des Absorbers ausgerichtet ist, und wird auf einer Schicht vom p-Typ und einer Schicht vom n-Typ eine p-Elektrode bzw. eine n-Elektrode gebildet.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von vorteilhaften Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

10

Fig. 1 in Querschnittsansicht schematisch einen oberflächenemittierenden Laser mit vertikalem Hohlraum gemäß einer Ausführungsform der Erfindung mit einem Absorber, der im verteilten Bragg-Reflektor ausgebildet ist, und einem aktiven Bereich, der durch Ionenimplantation gebildet ist;

15

20

Fig. 2 eine graphische Darstellung der Charakteristik der Lichtausgangsleistung gegen den Strom der Einrichtung der vorliegenden Erfindung;

25

Fig. 3 eine graphische Darstellung der Emissionsspektren bei unterschiedlichen Strompegeln der Einrichtung der vorliegenden Erfindung; und

30

Fig. 4 in Querschnittsansicht schematisch einen oberflächenemittierenden Laser mit vertikalem Hohlraum gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung mit einem Absorber, der in dem verteilten Bragg-Reflektor ausgebildet ist, und einem aktiven Bereich, der durch Oxidierung gebildet ist.

In der vorliegenden Erfindung werden die Ausdrücke
"oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Hohlraum",
"verteilter Bragg-Reflektor" und "Einzelquermode" in der ge-
wöhnlichen Bedeutung auf dem Gebiet von Halbleitern verwen-
det.

Bei der vorliegenden Erfindung bedeutet "stabiler Einzelmode-
Betrieb", daß die Lasereinrichtung im Einzelmode über den ge-
samten Ansteuerstrombereich oberhalb des Schwellenstroms ar-
beitet.

In der vorliegenden Erfindung bedeutet der Ausdruck
"Absorber", daß der Absorptionskoeffizient des entsprechenden
Bereiches wenigstens 10/cm in Bezug auf das Licht ist, das
vom aktiven Bereich der Einrichtung abgegeben wird.

Figur 1 zeigt schematisch den Querschnitt eines oberflächen-
emittierenden Lasers mit vertikalem Hohlraum (VCSEL) 10. Er
weist ein Substrat 11 und eine vielschichtige Struktur auf,
die über dem Substrat stapelförmig angeordnet ist, die aus
einem unteren verteilten Bragg-Reflektor 12, einer unteren
Mantel- oder Abstandsschicht 13, einer lichtemittierenden ak-
tiven Schicht 14, die eine einzige Schicht oder eine Quanten-
mulde sein kann, einer oberen Mantel- oder Abstandsschicht 15
und einem oberen verteilten Bragg-Reflektor 16 besteht.
Sowohl der obere als auch der untere Bragg-Reflektor 12, 16
sind typischerweise aus vielen Paaren von abwechselnden
Schichten 17 gebildet, wie z.B. GaAs/AlAs, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}/\text{InP}$
gebildet sind, wobei jede abwechselnde Schicht 17 die Dicke
von einem Viertel der entsprechenden Laserwellenlänge hat,

und wobei die Paaranzahl von abwechselnden Schichten so ausgewählt ist, daß sie groß genug ist, daß man eine sehr hohe Reflektivität ($> 99\%$) in Bezug auf die Laserwellenlänge erhält; vorzugsweise ist sie zwischen 20 und 40. Das Paar von
5 abwechselnden Schichten 17 besteht normalerweise aus einer Grenzschicht von abgestufter Zusammensetzung.

In einem Teil der vielschichtigen Anordnung des Lasers ist ein Torusbereich selektiv stark dotiert ($> 10^{18}/\text{cm}^3$) mit einer
10 Öffnung 18, die intakt bleibt, um einen Absorber 19 für Modes höherer Ordnung zu bilden, indem ein konventionelles Verfahren wie Diffusion, Implantation oder Umkristallisieren verwendet wird. Der Absorber 19 kann mit einer Dotierung vom p-Typ wie z.B. Zink (Zn), Magnesium (Mg), Beryllium (Be),
15 Strontium (Sr) oder Barium (Ba) oder einer Dotierung vom n-Typ wie z.B. Silizium (Si), Germanium (Ge), Selen (Se), Schwefel (S) oder Tellur (Te) dotiert sein. Der Zweck, einen Absorber 19 mit einer Öffnung 18 zu bilden, was nur den Durchgang von Licht im Grundmode erlaubt, besteht darin, Laserbetrieb bei Modes höherer Ordnungen als dem Grundmode zu
20 unterdrücken. Um dieses Ziel zu erreichen, soll die Öffnung 18 vorzugsweise einen Durchmesser oder eine längste Diagonale zwischen 1 und 8 μm haben, noch bevorzugter zwischen 4 und 6 μm . Die Dicke des Absorbers 19 wird den Absorptionsverlust
25 des Lichts, das durchgeht, und das Ausmaß der Unterdrückung von Modes höherer Ordnung bestimmen. Da der Teil ($< 10\%$) des Grundmodelichts auch mit dem Absorber 19 koppeln kann, was zu einem Absorptionsverlust führt, muß die Dicke des Absorbers 19 optimiert werden.

Um einen Absorber 19 zu erhalten, der dick genug ist, den Mode höherer Ordnung zu unterdrücken, jedoch nicht einen signifikanten Absorptionsverlust für den Grundmode bewirkt, ist die Dicke des Absorbers daher vorzugsweise zwischen 3 und 5 95%, noch bevorzugter zwischen 10 und 50% und am meisten bevorzugt zwischen 15 und 40% der Dicke des verteilten Bragg-Reflektors, wo der Absorber 19 normalerweise angeordnet ist.

Um den Absorptionsverlust des Grundmodes zu reduzieren, ist 10 der Absorber 19 vorzugsweise am fernen Ende des verteilten Bragg-Reflektors weg von der lichtemittierenden aktiven Schicht 14 angeordnet.

Um die lichtemittierende aktive Schicht 14 ist eine Stromeingrenzungsstruktur 20 gebildet, um den Injektionsstrom in einem aktiven Bereich 21 einzugrenzen, dessen Zentrum mit der Öffnung 18 des Absorbers 19 ausgerichtet ist, indem ein konventionelles Halbleiterverfahren wie Implantation, Diffusion, Oxidation oder Mesaätzen verwendet wird. Der Durchmesser des 20 aktiven Bereiches 21 beträgt vorzugsweise zwischen 1 und 50 μm , noch bevorzugter zwischen 5 und 15 μm .

Um einen p-n-Übergang in der Einrichtung zu bilden, werden die Halbleiterschichten oberhalb und unterhalb der lichtemittierenden aktiven Schicht 14 als Schichten vom p-Typ und n-Typ oder aber vom n-Typ und p-Typ ausgebildet. 25

Eine p-Elektrode 22 und eine n-Elektrode 23 werden auf der Schicht vom p-Typ bzw. der Schicht vom n-Typ der Laserstruktur gebildet. Eine Öffnung, die mit ihrem Zentrum mit dem ak- 30

tiven Bereich und der Öffnung des Absorbers ausgerichtet ist, ist entweder auf der p-Elektrode oder der n-Elektrode ausgebildet, um es zu ermöglichen, daß Licht herausemittiert wird, das bei 26 austritt.

5

Bei der vorliegenden Erfindung kann der oberflächenemittierende Laser 10 mit vertikalem Hohlraum aus Materialien von Halbleitersystemen und dielektrischen System hergestellt werden, wie z.B. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}$, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$,

10 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{P}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}_{1-x-y}\text{As}$, $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$, $\text{GaAs}_x\text{Sb}_{1-x}$, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}_y\text{Se}_{1-y}$, $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$, $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ oder Si/SiO_2 . Die Laserwellenlänge des oberflächenemittierenden Lasers 10 mit vertikalem Hohlraum wird in der Hauptsache durch das verwendete Material und die verwendete Struktur bestimmt.

15

Die vorliegende Erfindung soll unten aufgrund der folgenden Beispiele beschrieben werden.

Beispiel 1

20 Die Wafer, die für die Herstellung eines oberflächenemittierenden Lasers mit Einzelmode, 850 nm und vertikalem Hohlraum (VCSEL) verwendet wurde, bestand aus einer typischen VCSEL epitaxialen Schichtstruktur, drei GaAs/AlGaAs-Vielquanten-Mulden (MQW), wobei die oberen und unteren Mantelschichten
 25 zwischen ein 30-Paar vom n-Typ und ein 20-Paar vom p-Typ $\text{Al}_{0,12}\text{Ga}_{0,88}\text{As}/\text{Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ -Schichten sandwichartig eingeschlossen waren, mit Grenzflächen von abgestufter Zusammensetzung. Die vollständige Einrichtung, die in Figur 1 gezeigt ist, wurde wie folgt hergestellt. Erst wurde eine Si_3N_4 Maske mit Krei-
 30 sen, mit 5 μm Durchmesser auf der Probe gebildet, dann wurde die maskierte Probe mit einer Zn_2As_3 -Quelle in einer ausge-

pumpten Quarzampulle eingeschlossen und in einen Ofen mit 650 °C während acht Minuten für Kurzzeit-Zn-Diffusion eingebracht. Es war beabsichtigt, einen Zn-diffundierten Bereich mit einer Dicke von weniger als 0,5 µm, was 15% der oberen

5 verteilten Bragg-Reflektor Vielschicht vom p-Typ entspricht, außerhalb des mit Si₃N₄ maskierten Bereiches zu erhalten, um einen Absorber für höhere Modes zu bilden. Nach der Zn-Diffusion wurde die Probe selektiv mit Protonen mit einer Energie von 300 keV und einer Dotierung von 1×10^{14} implan-

10 tiert, wobei eine 6 µm dicke Photoresistschicht mit einem Durchmesser von 15 µm als eine implantierte Masse verwendet wurde. Nachdem die Photoresist-Schicht entfernt worden war, wurde eine Cr/Au-Schicht mit einem Emissionsfenster von 15 x 15 µm² auf die Oberseite aufgebracht und eine Ge/Au-Schicht

15 auf der Rückseite der Probe aufgebracht, um Elektroden vom p-Typ bzw. n-Typ zu bilden. Figur 2 zeigt die typische Charakteristik der Lichtausgangsleistung und Spannung in Abhängigkeit vom Strom der hergestellten Einrichtung. Es wurde eine Leistung mit einem niedrigen Schwellenstrom von 3,0 mA und

20 einer maximalen Ausgangsleistung > 3,0 mW erhalten, was wesentlich besser ist als der oberflächenemittierende Laser mit vertikalem Hohlraum mit einem dicken Zinkdiffusionsbereich (> 3,0 µm, 100 % des oberen verteilten Bragg-Reflektors), in dem typischerweise der Schwellenstrom > 8 mA war und die Aus-

25 gangsleistung nur 0,25 mW war. Figur 3 zeigt die entsprechenden Emissionsspektren der Einrichtung bei unterschiedlichen Strompegeln, was anzeigt, daß die Einrichtung in einem stabilen Einzelmode mit einem Unterdrückungsverhältnis für Modes höherer Ordnung besser als 40 dB bis zum maximalen Ansteuer-

30 strom arbeitet, wo die Lichtausgangsleistung gesättigt wird.

Die Anzahl von Lasereinrichtungen, die von der Wafer hergestellt wurde, betrug ungefähr 12.000. Eine Ausbeute von besser als 95% Lasereinrichtungen mit stabilem Einzelmode wurde erhalten. Es wurde so bestätigt, daß erfindungsgemäß ein
5 oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Hohlraum mit einem stabilen Einzelmode-Betrieb und einer ausreichenden Ausgangsleistung (> 1 mW) und ein Herstellungsverfahren zum Herstellen von Einrichtungen mit guter Qualität mit hoher Ausbeute geschaffen wurde.

10

Beispiel 2

Dieselbe Wafer wie bei Beispiel 1 wurde benutzt, um einen im Einzelmode oberflächenemittierenden Laser mit 850 nm und vertikalem Hohlraum herzustellen. Die fertiggestellte Einrichtung, die in Figur 4 gezeigt ist, wurde wie folgt hergestellt.
15 Als erstes wurde eine Si_3N_4 Maske mit Kreisen von 5 μm Durchmesser auf der Probe gebildet, dann wurde eine $\text{Zn}(3000 \text{ \AA})/\text{Au}(1000 \text{ \AA})$ -Schicht auf der maskierten Probe gebildet, die in einen Ofen bei 650°C während 10 Minuten für Zn-Diffusion mit offener Röhre eingebracht wurde. Es war beabsichtigt, einen mit Zn diffundierten Bereich mit einer Dicke
20 $< 0,8 \mu\text{m}$, was 25 % des oberen verteilten Bragg-Reflektors vom p-Typ entspricht, außerhalb des mit Si_3N_4 maskierten Bereiches zu erhalten, um einen Absorber für Modes höherer Ordnung zu bilden. Nach der Zn-Diffusion wurde die Probe geätzt, um eine
25 Mesa/Grabenstruktur zu bilden. Die Gräben wurden ungefähr 1 μm tiefer als die lichtemittierende aktive Schicht geätzt, um die AlGaAs-Schicht freizulegen und die Einrichtungen elektrisch zu isolieren. Dann wurde die Probe in einen Ofen bei
30 415°C eingebracht, wobei H_2O -Dampf mit 90°C strömte, um das

freiliegende AlGaAs zu oxidieren, um einen stromeingegrenzten aktiven Bereich zu bilden. Nach Oxidation wurde eine SiO₂-Schicht mit 2000 Å über die gesamte Probe aufgebracht, und es wurde ein 30 x 30 µm² quadratisches Fenster auf der Oberseite
5 der Mesa geöffnet. Als letzter Schritt wurde eine Cr/Au-Schicht mit einem 15 x 15 µm²-Fenster auf die Oberseite aufgebracht, und es wurde eine Ge/Au-Schicht auf der Rückseite der Probe aufgebracht, um Kontakte vom p-Typ bzw. n-Typ zu bilden. Die Leistung der hergestellten oberflächenemittierenden
10 den Laser mit vertikalem Hohlraum war im wesentlichen dieselbe wie diejenige der Einrichtungen von Beispiel 1. Die Ausbeute war ebenfalls dieselbe wie bei Beispiel 1.

Beispiel 3

15 Dieselbe Wafer wie bei Beispiel 1 wurde benutzt, um einen oberflächenemittierenden Laser mit Einzelmode, 850 nm und vertikalem Hohlraum zu bilden. Die fertiggestellte Einrichtung, die im wesentlichen dieselbe wie die in Figur 1 gezeigte ist, wurde wie folgt hergestellt. Eine 3000 Å dicke Au-
20 Schicht mit Kreisen von 5 µm Durchmesser wurde photolithographisch auf der Probe gebildet, dann wurde in die maskeierte Probe selektiv Zn mit einer Energie von 2,5 MeV und einer Dotierung von $1 \times 10^5/\text{cm}^2$ implantiert. Nach der Implantierung wurde die Probe bei 900 °C während 30 Sekunden getempert,
25 um das implantierte Zn zu aktivieren, das einen Absorber für Modes höherer Ordnung bildet. Nach der Zn-Implantation und nach dem Tempern wurden in die Probe selektiv Protonen mit einer Energie von 300 keV und einer Dosierung von 3×10^{14} implantiert, wobei eine 6 µm dicke Photore-
30 sistenschicht mit 15 µm Durchmesser als implantierte Maske ver-

wendet wurde. Nachdem die Photoresistschicht entfernt worden war, wurde eine Cr/Au-Schicht mit einem Emissionsfenster von $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ auf der Oberseite aufgebracht, und es wurde eine Ge/Au-Schicht auf der Rückseite der Probe aufgebracht, um

5 Elektroden vom p- bzw. n-Typ zu bilden. Das Leistungsvermögen des hergestellten oberflächenemittierenden Lasers mit vertikalem Hohlraum war im wesentlichen dasselbe wie dasjenige der Einrichtungen von Beispiel 1. Die Ausbeute war ebenso dieselbe wie bei Beispiel 1.

10

Beispiel 4

Die Wafer für die Herstellung eines oberflächenemittierenden Lasers mit Einzelmode, $1,3 \mu\text{m}$ und vertikalem Hohlraum (VCSEL) bestand aus einer typischen VCSEL Epitaxialschichtstruktur,

15 drei InGaAsP/InP Multiquantenmulden (MQW), wobei die oberen und unteren Mantelschichten durch ein 40-Paar vom n-Typ und ein 35-Paar vom p-Typ von InGaAsP/InP-Schichten mit Grenzschichten von abgestufter Zusammensetzung sandwichartig eingeschlossen waren. Die vollständige Einrichtung wurde wie

20 folgt hergestellt. Zunächst wurde eine Si_3N_4 Maske mit Kreisen von $5 \mu\text{m}$ Durchmesser auf der Probe hergestellt. Dann wurde die maskierte Probe mit einer Zn_2As_3 -Quelle in einer ausgepumpten Quarzampulle eingeschlossen und in einen Ofen mit 650°C für Zn-Diffusion während 15 Minuten eingebracht. Es war

25 beabsichtigt, einen mit Zn diffundierten Bereich mit einer Dicke von weniger als $1,5 \mu\text{m}$, was 20 % der oberen vielschichtigen Anordnung des verteilten Bragg-Reflektors vom p-Typ entspricht, außerhalb des mit Si_3N_4 maskierten Bereiches zu erhalten, um einen Absorber für höhere Modes zu bilden.

30

Nach der Zn-Diffusion wurden in die Probe selektiv Protonen mit einer Energie von 650 keV und einer Dosierung von 1×10^{14} implantiert, indem eine 10 μm dicke Photoresistschicht mit einem Durchmesser von 15 μm als implantierte Maske verwendet wurde. Nachdem die Photoresistschicht entfernt war, wurde ein Emissionsfenster von $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ aus einer Ti/Pt/Au-Schicht auf der Oberseite aufgebracht, und es wurde eine Ni/AuGe/Ni/Au-Schicht auf der Rückseite der Probe aufgebracht, um Elektroden vom p-Typ bzw. n-Typ zu bilden.

10

Die Erfindung kann wie folgt zusammengefaßt werden. Es werden oberflächenemittierende Laser mit vertikalem Hohlraum geschaffen und ein Verfahren zum Herstellen derselben beschrieben. Die Einrichtung weist eine Struktur auf, die gekennzeichnet ist durch: ein Substrat, eine vielschichtige Struktur, die über dem Substrat stapelförmig angeordnet ist, die aus einem unteren verteilten Bragg-Reflektor, einer unteren Mantel- oder Abstandsschicht, einer lichtemittierenden aktiven Schicht, einer oberen Mantel- oder Abstandsschicht und einem oberen verteilten Bragg-Reflektor (DBR) besteht. Bei dem Verfahren wird ein Absorber mit einer Öffnung in einem Teil der vielschichtigen Struktur gebildet. Es wird ein aktiver Bereich gebildet, dessen Zentrum mit der Absorberöffnung der lichtemittierenden aktiven Schicht ausgerichtet ist. Es wird dann eine p-Elektrode und eine n-Elektrode auf Schichten vom p-Typ bzw. n-Typ ausgebildet. Durch die Einrichtungsstruktur und das Herstellungsverfahren wird ein oberflächenemittierender Laser mit vertikalem Hohlraum geschaffen, der im stabilen Einzelmode mit ausreichender Ausgangsleistung arbeiten kann und bei der Herstellung eine hohe Ausbeute erreicht.

02.11.01

15a

Fig. 4 zeigt eine andere Ausführungsform mit einem Absorber
19, einem aktiven Bereich 21, einer Oxidschicht 25, einem
Lichtaustritt 26, einer Öffnung 18, einer p-Elektrode 22, ei-
5 ner lichtemittierenden aktiven Schicht 14, einem Substrat 11
und einer n-Elektrode 23.

10

DE 201 17 307 11

Schutzansprüche

1. Oberflächenemittierender Laser mit einem vertikalem Hohlraum und einem Substrat, dadurch gekennzeichnet,
5 daß er aufweist

eine mehrschichtige Struktur, die über dem Substrat (11) stapelförmig angeordnet ist, die aus einem unteren verteilten Bragg-Reflektor (DBR, 12), einer unteren
10 Mantel- oder Abstandsschicht (13), einer lichtemittierenden aktiven Schicht (14), einer oberen Mantel- oder Abstandsschicht (15) und einem oberen verteilten Bragg-Reflektor (DBR, 16) besteht;

15 einen Absorber (19) mit einer Öffnung (18), der in einem Teil der mehrschichtigen Struktur ausgebildet ist und eine Dicke von 3 % bis 95 % des unteren oder oberen verteilten Bragg-Reflektors (DBR, 12, 16) aufweist;

20 einen aktiven Bereich (21), dessen Zentrum mit der Öffnung (18) des Absorbers (19) ausgerichtet ist, der in der lichtemittierenden aktiven Schicht (14) ausgebildet ist, und

25 eine p-Elektrode (22) und eine n-Elektrode (23), die auf einer Schicht vom p-Typ bzw. n-Typ ausgebildet sind.
2. Laser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Absorber (19) mit der Öffnung (18) aus einem stark dotierten torusförmigen Bereich mit einer Dotierungskon-
30

zentration von mehr als $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ gebildet ist.

3. Laser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
daß die Öffnung (18) des Absorbers (19) einen Durchmes-
5 ser oder eine längste Diagonale von 1 bis 8 μm oder ei-
ne Fläche von 1 - 60 μm^2 hat.
4. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekenn-
zeichnet, daß die Dotierung aus Zink (Zn), Magnesium
10 (Mg), Beryllium (Be), Strontium (Sr), Barium (Ba), Kad-
mium (Cd), Silizium (Si), Germanium (Ge), Zinn (Sb),
Selen (Se), Schwefel (S) und/ oder Tellur (Te) gebildet
ist.
- 15 5. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekenn-
zeichnet, daß der aktive Bereich (21) einen Durchmesser
oder eine längste Diagonale von 5 bis 50 μm oder eine
Fläche von 20 bis 2000 μm^2 hat.
- 20 6. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekenn-
zeichnet, daß der untere verteilte Bragg-Reflektor (12)
und die untere Mantel- oder Abstandsschicht (13) vom p-
Typ sind und der obere verteilte Bragg-Reflektor (16)
und die obere Mantel- oder Abstandsschicht vom n-Typ
25 sind.
7. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekenn-
zeichnet, daß der untere verteilte Bragg-Reflektor (12)
und die untere Mantel- oder Abstandsschicht (13) vom n-
30 Typ sind und der obere verteilte Bragg-Reflektor (16)

und die obere Mantel- oder Abstandsschicht vom p-Typ sind.

- 5 8. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (11) ein Halbleitermaterial ist.
- 10 9. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht der mehrschichtigen Struktur, die über dem Substrat (11) stapelförmig angeordnet ist, entweder aus Halbleitermaterial oder aus dielektrischem Material gebildet ist.
- 15 10. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Bereich (21) seitlich durch isolierende Schichten begrenzt ist, die durch Ionenimplantation gebildet sind.
- 20 11. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Bereich (21) seitlich durch isolierende Schichten begrenzt ist, die durch Oxidation gebildet sind.
- 25 12. Laser nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der aktive Bereich (21) durch eine Mesastruktur begrenzt ist.

00.11.01

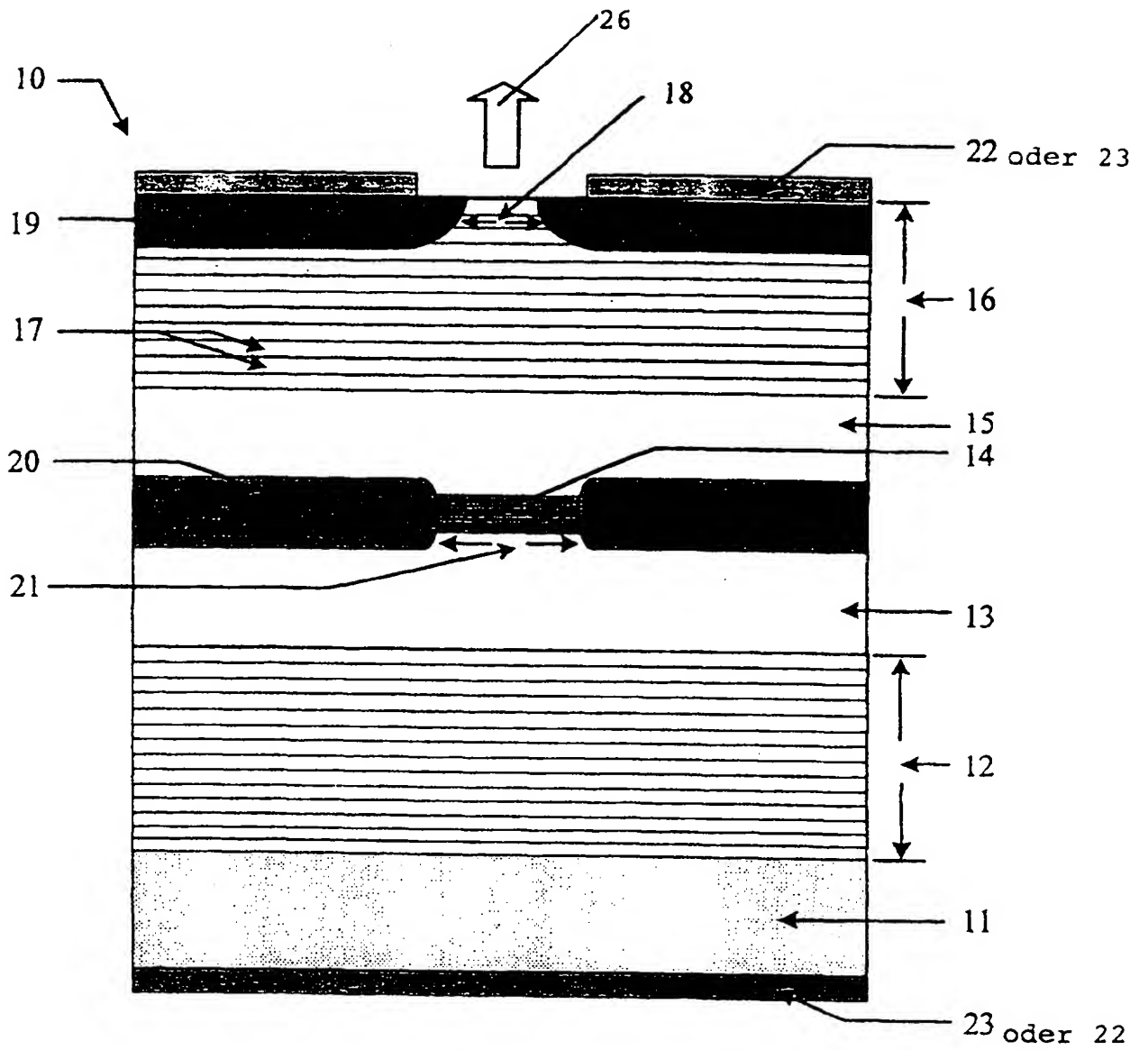


FIG. 1

00.11.01

09.08.01

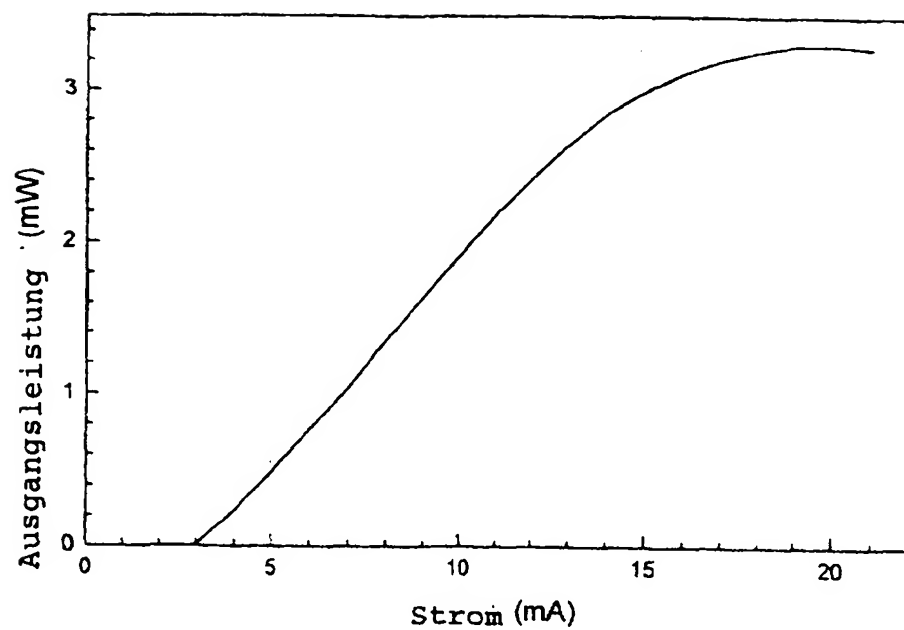


FIG. 2

DE 201 13 207 U1

09.08.01

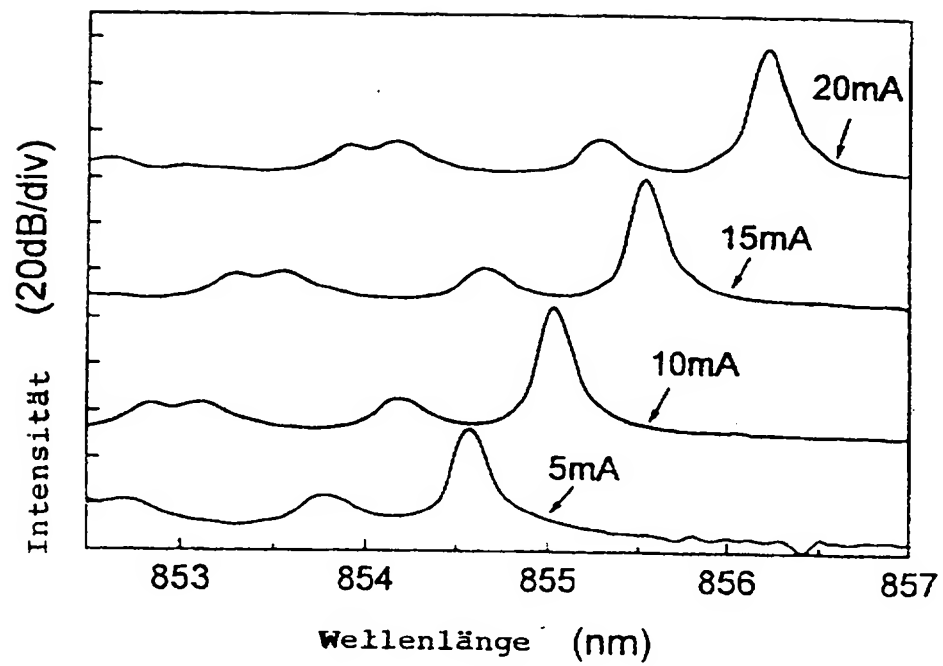


FIG. 3

MP 001 17 007 11

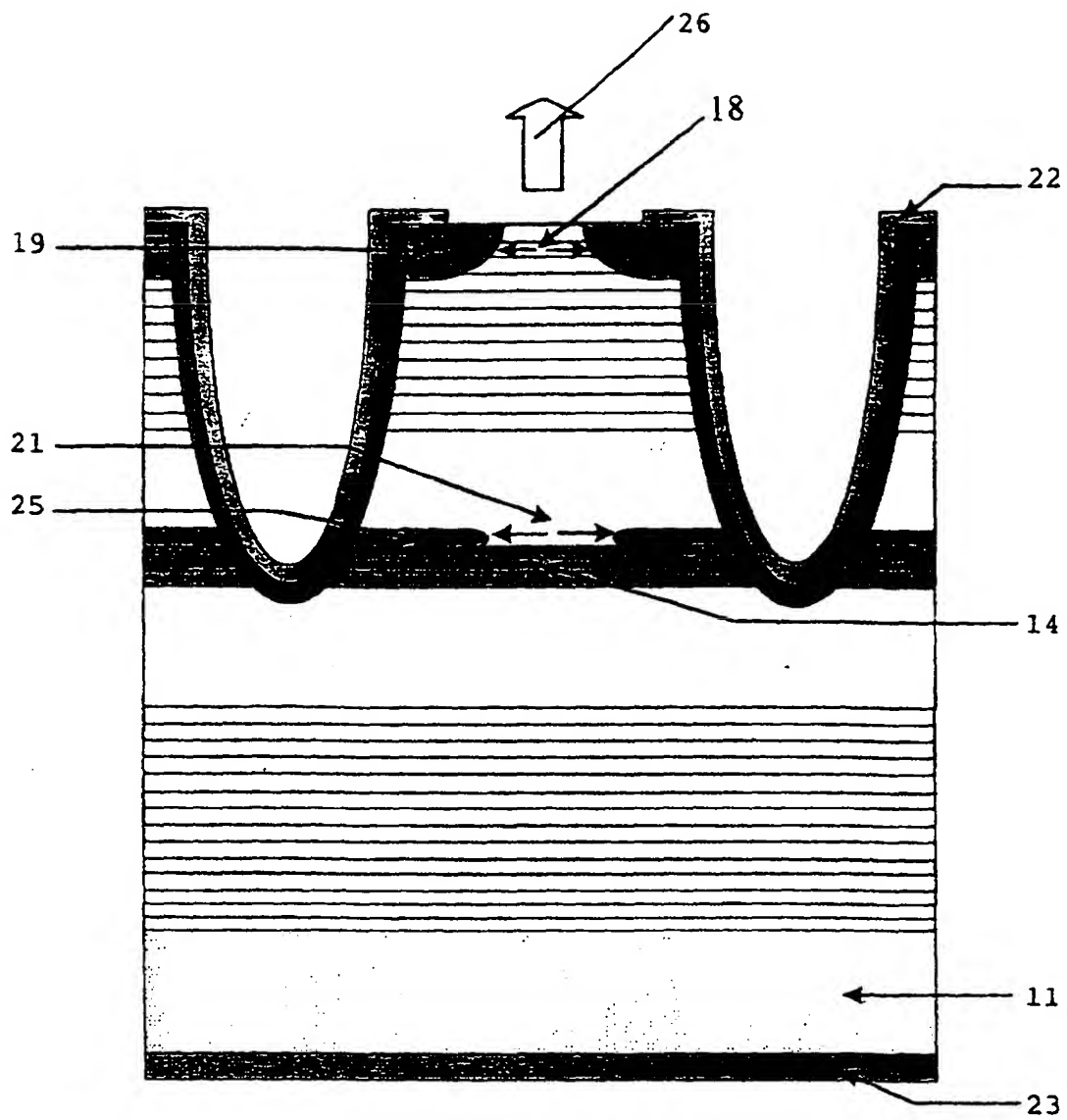


FIG.4